

# TERMOMUOVATTAVAT PUULEVYVALMISTEET TUOTEKEHITYS

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Puutekniikan koulutusohjelma  
Opinnäytetyö  
Syksy 2010  
Jyri Pekkanen

Lahden Ammattikorkeakoulu  
Tekniikan koulutusohjelma

PEKKANEN, JYRI:

Termomuovattavat puulevyvalmisteet  
Tuotekehitys

Puutekniikan opinnäytetyö, 48 sivua

Kevät 2011

## TIIVISTELMÄ

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää termomuovattavan puulevyvalmisteen taipumista 3D-muotoon. Muotoon taipumista testattiin neljän erilaisen mallin avulla. Opinnäytetyö on osa Lahden Ammattikorkeakoulussa toteutettavaa TERMO-projektia. TERMO-levy on uudenlainen levymateriaali, joka koostuu ABS-runkolevystä ja sen pinnoille liimattavista viiluista.

Työn teoriaosuudessa tutkittiin erilaisia tuotekehitysprosessimalleja. Tarkoituksena oli selvittää parhaiten tämänkaltaiseen projektiin sopiva malli. Sopivimmat mallit löytyivät lähinnä tietotekniikka-alalla käytetyistä malleista, joita olivat Kanban ja Scrum.

Työn kokeellinen osuus suoritettiin suunnittelemalla erilaisia muotoja, jotka kuvaavat mahdollisimman hyvin levyn taipumista. Tutkimusten aikana suunniteltiin neljä erilaista muotoa, joista valmistettiin muotit. Muottien avulla valmistettiin TERMO-levyistä kappaleita alipainekalvopuristimella.

Opinnäytetyö auttoi löytämään asetuksia, joilla TERMO-levy saadaan taipumaan mahdollisimman jyrkkiin 3D-muotoihin. Tämän tutkimuksen tuloksista saadaan merkittävää apua TERMO-levyjen jatkokehitykseen sekä tuotesuunnitteluun.

Avainsanat: 3D-muoto, alipainemuovaus, termomuovattava puulevy, tuotekehitys

Lahti University of Applied Sciences  
Faculty of Technology

PEKKANEN, JYRI:

Thermoformable wood panel products  
Product development

Bachelor's Thesis in Wood Technology

48 pages

Spring 2011

## ABSTRACT

---

The purpose of this study was to determine how a thermoformable wood panel bends to 3D shapes. The bending was tested using four different models. This thesis is part of the TERMO project of Lahti University of Applied Sciences. The TERMO panel is a novel material consisting of the ABS frame board and surface veneers.

The theoretical part focuses on research of product development process models. The purpose was to determine the most suitable one for this kind of project. The most suitable models were found from the models used mainly in the IT sector: the Kanban and the Scrum.

The experimental part was done by designing a variety of shapes, which demonstrates the bending properties of the panel as much as possible. During the research four different shapes were designed, from which molds were prepared. The objects were manufactured from TERMO panel using a vacuum press.

The work of this thesis helped to determine the settings which allow TERMO panel to bend to as sharp 3D shapes as possible. The outcome of this study provides significant help for further development and product design.

Keywords: 3D shape, product development, thermoformable wood panel, vacuum forming

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 TUOTEKEHITYS.....	2
2.1 Tuotekehitysprosessi.....	3
2.2 Tuotekehitysprosessin vaiheet.....	3
2.3 Perinteiset tuotekehitysprosessimallit.....	4
2.3.1 Stage-Gate.....	4
2.3.2 Waterfall.....	7
2.4 Ketterät tuotekehitysprosessimallit .....	9
2.4.1 Kanban.....	9
2.4.2 Scrum.....	11
2.5 Tuotekehitysprosessimallien vertailu.....	12
2.6 Tuotekehitysprosessimallin soveltaminen TERMO-projektissa.....	13
3 TERMO-PROJEKTIN TUOTEKEHITYKSEN VAIHEET.....	14
3.1 Ideointi.....	14
3.2 Tavoitteet.....	14
3.3 Esisuunnittelu.....	15
3.4 Tutkimukset.....	15
3.4.1 ABS-muovin ja koivuviilun liimaus muotopuristeissa .....	15
3.4.2 Muottivalinta.....	17
3.4.3 Viilun murtovenymän parantaminen 3D-muotopuristuksessa .....	18
3.4.4 Levyn lujuusominaisuudet.....	19
3.5 Prototyyppien valmistus ja testaus.....	20
3.5.1 TUISKU-muoto.....	22
Muotoon taipuminen.....	23
Liiman tarttuvuus.....	23
Viilun taipuminen muotoon.....	25
Muodon pysyvyys.....	25
3.5.2 TUOLI-muoto.....	26
Muotoon taipuminen.....	27
Liiman tarttuvuus.....	28
Viilun taipuminen muotoon.....	28
Muodon pysyvyys.....	29

3.5.3 BANSKU-muoto.....	29
Muotoon taipuminen.....	30
Liiman tarttuvuus.....	31
Viilun taipuminen muotoon.....	32
Muodon pysyvyys.....	36
3.5.4 TILANJAKAJA-muoto.....	37
Muotoon taipuminen.....	38
Liiman tarttuvuus.....	39
Viilun taipuminen muotoon.....	39
Muodon pysyvyys.....	40
3.6 Koekappaleiden valmistus tehtaassa.....	41
4 TULOSTEN ANALYSOINTI.....	43
4.1 TUISKU-muoto.....	44
4.2 TUOLI-muoto.....	44
4.3 BANSKU-muoto.....	44
4.4 TILANJAKAJA-muoto.....	45
5 YHTEENVETO.....	46
6 LÄHTEET.....	47

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Lahden Ammattikorkeakoulun vetämälle tutkimushankkeelle, jonka tavoitteena oli kehittää uudenlainen muotopuristusmenetelmä. Termomuovattava puulevy on Lahden Ammattikorkeakoulun innovoima ja patentoima muotopuristeiden valmistusmenetelmä. Tutkimusprojekti termomuovattavan puulevyn kehitykseksi alkoi vuonna 2008 ja päättyi vuoden 2010 loppuun. Projektin aikana sille tehtiin kuusi opinnäytetyötä. Tekniikan alan opiskelijoita opinnäytetyön tehneistä oli viisi. Näiden tutkimusten tavoitteena oli selvittää TERMO-levyn ominaisuuksia ja levyjen valmistusmenetelmiä. Yhden opinnäytetöistä teki Muotoiluinstituutin opiskelija, tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää TERMO-levylle sopivia käyttökohteita ja suunnitella ensimmäinen prototyyppituote. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää minkälaisiin 3D-muotoihin TERMO-levy voidaan taivuttaa alipainepuristusmenetelmällä.

Lahden Ammattikorkeakoulun lisäksi projektissa olivat mukana Tampereen Teknillinen Yliopisto, Huonekalutehdas Korhonen Oy, P.O. Korhonen Oy, UPM-Kymmene Wood Oy sekä Vilkon Oy.

Tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään tuotekehitystä. Tuotekehitysprozessimalleista vertaillaan Waterfall-mallia, stage-gate-mallia, Kanban-mallia ja Scrum-mallia.

## 2 TUOTEKEHITYS

Tuotekehityksen tarkoitus on kehittää toimiva tuote ideasta tai kehittää jo olemassa olevan tuotteen ominaisuuksia. Kaikki tuotteet, joita ihminen nykypäivänä käyttävät ovat tuotekehityksen tulosta. (Hietikko 2008, 15)

Innovaatiot ja tuotekehitys ovat olleet osa ihmiskunnan toimintaa jo hyvin pitkään. Ensimmäiset innovaatiot tapahtuivat historioitsioiden mukaan jo 5000 ekr, kun summerilaiset innovoivat nuolenpääkirjoituksen ja kheopsin pramidi rakennettiin. Ensimmäiset suunnittelun, toimeenpanon ja seurannan systeemit on kehitetty jo 4000 ekr muinaisten egyptiläisten toimesta. Systeemejä ei kuitenkaan käytetty liiketoiminnassa vuosituhansiin, vaan niitä hyödynnettiin lähinnä laki- ja veroasioissa. Vasta noin 600 ekr tuotannon ja laadun valvonta otettiin käyttöön liiketoiminnassa. (Rissanen 2002, 30)

Nykypäivänä tuotekehitys ei ole vain yhden tuotteen konkreettinen valmistusprosessi, vaan siihen kuuluu koko yrityksen toiminta. Tuotekehitysprosessiin sisältyy kehitettävän tuotteen ympärille suunniteltu tuotteen identiteetti: nimi, logo, muotoilu ja pakkaus, sekä jälkimarkkinoinnilliset toimenpiteet. Jälkimarkkinointiin voi kuulua esimerkiksi koulutus, kierrätys, toimitus, huolto, asennus, takuut. Tuotteesta riippuen jälkimarkkinointiin saattaa kuulua lukuisia muitakin palveluita. (Hietikko 2008, 15-17.)

Eri alojen yritykset käyttävät eri määrän resursseja tuotekehitykseen. Tuotekehitykseen käytetyt varat pyörivät muutamasta prosentista kymmeneen prosenttiin liikevaihdosta. Yrityksillä on usein hankaluuksia arvioida, kuinka monta tuotetta pitäisi olla kehityksessä kullakin hetkellä. Tämän ongelman ratkaisemiseksi on rakennettu laskentakaava, jonka avulla voidaan selvittää tarvittavien kehitettävien tuotteiden määrä. Laskentakaavassa muuttujia ovat yrityksen tuotevalikoiman tuotteiden määrä  $n$ , näiden tuotteiden taloudellinen elinikä  $t$ , arvioitu tuotevalikoiman lisäys  $k$  ja yhden tuotteen kehitykseen kuluva aika  $b$ . Uusia tuotteita pitää valmistaa markkinoilta poistuvien tuotteiden tilalle  $n/t$  kappaletta. Markkinoilla

olevien tuotteiden määrän nousu lisää tätä  $k$ :lla. Laskukaavan mukaan yrityksellä on oltava jatkuvasti tuotekehityksessä  $p$  määrä tuotteita,  $p$  saadaan kaavasta:

$$p = b\left(\frac{n}{t} + k\right) \quad (\text{Hietikko 2008, 26})$$

Tässä opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin lähinnä itse fyysisen tuotteen tuotekehitysprosessiin.

## 2.1 Tuotekehitysprosessi

Tuotekehitysprosessilla tarkoitetaan ideasta lähtevää prosessia, jonka lopputulos on valmis tuote. Tuotekehityksen helpottamiseksi on kehitetty kymmeniä erilaisia prosessimalleja. Ne ovat kuitenkin vain raameja, jotka yritys muokkaa omien tarpeidensa mukaiseksi. Tuotekehitysprosessimallit jaetaan kahteen pääryhmään, vanhempiin perinteisiin ja uudempiin ketteriin malleihin. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin tarkemmin kahta mallia kummastakin ryhmästä. Perinteisistä malleista tarkempaan tutkintaan valittiin stage-gate-malli ja waterfall-malli. Ketteristä malleista tarkemmin tutkittiin kanban-mallia ja scrum-mallia.

## 2.2 Tuotekehitysprosessin vaiheet

Tuotekehitysprosessi toteutetaan yleensä seitsemässä vaiheessa. Vaiheet ovat:

- lähtökohtien yksilöinti
- ideointi ja vaihtoehtojen kehittäminen
- taustatietojen hankkiminen (esitutkimus)



- seulonta ja valinta
- prototyyppi ja kokeilu
- tuotannon ja markkinoinnin valmistelu
- markkinoille vienti

Vaiheiden järjestys vaihtelee prosessimallien ja kehitettävän tuotteen vaatimusten mukaan. Usein myös joudutaan palaamaan vaiheita taaksepäin ja toistamaan joitain vaiheita useaan kertaan. (Jaakkola; Tunkelo 1987, 88-89)

Kaikissa tässä lopputyössä käsitellyissä tuotekehitysprosessimalleissa on käytössä kaikki nämä seitsemän vaihetta. Prosessimalleissa kuitenkin vaiheiden järjestys ja aikataulutus vaihtelee paljonkin.

## 2.3 Perinteiset tuotekehitysprosessimallit

### 2.3.1 Stage-Gate

Stage-gate tuotekehitysprosessimallin kehitti kanadalainen professori Robert G. Cooper Kanadan Ontarion McMaster yliopistossa vuonna 1986. Ensimmäisen kerran hän esitteli mallinsa kirjassaan *Winning at New Products*. Tuotekehitysprosessimallin hän kehitti lukuisien aiemmin tekemiensä tutkimusten pohjalta. Nykyään jopa 80 % pohjoisamerikkalaisista yrityksistä käyttää stage-gate tuotekehitysmallia tuotekehityksessään. (Stage-Gate International 2011. Proven models 2011)

Stage-gate (työvaihe-portti) mallissa työvaiheissa tehdään ennaltamäärättyjä tutkimuksia tai kokeita tuotteelle, kunkin tason vaatimuksien mukaan. Porttivaihe toteutetaan kunkin vaiheen jälkeen. Porttivaiheessa tarkastellaan työvaiheessa saatuja tuloksia, joista päätetään ovatko tulokset tarpeeksi hyvät, jotta tuote voidaan päästää seuraavaan työvaiheeseen. Porttivaiheessa tuotteelle etenemisestä pääte-

tään jokin neljästä vaihtoehdosta: tuote joko päästetään seuraavaan vaiheeseen, tuotteen kehitys lopetetaan kokonaan, tuotteen kehitys lopetetaan hetkellisesti tai tuote kierrätetään takaisin aikaisempaan työvaiheeseen. Yleisimmin stage-gate malli jakautuu viiteen työvaiheeseen ja viiteen porttivaiheeseen (KUVIO 1). Ennen kuin tuote pääsee ensimmäiseen vaiheeseen, on ensin valittava tuotekehitykseen viettävä tuote ideointipalaverissa. Valittu tuote pitää vielä hyväksyttää yrityksen johtohenkilöillä. (Prod-dev 2011)

### 1. Ideointi

Ideointivaiheessa tuotekehitysryhmä arvioi esillä olevien ideoiden potentiaaleja. Ryhmä valitsee mielestään potentiaalisimman tuotteen tuotekehitykseen. (Prod-dev 2011)

### 2. Stage 1

Ensimmäisen työvaiheen tarkoitus on selvittää tuotekehitykseen valitun tuotteen markkinapotentiaalia. Tutkimuksissa selvitetään tarkkaan jo markkinoilla olevat samankaltaiset tuotteet. Tärkeää on vertailla omaa ideaa kilpailijoiden markkinoilla oleviin tuotteisiin ja tunnistaa omat vahvuudet ja heikkoudet. Laajojen markkina- ja asiakasanalyysien avulla pyritään selvittämään kuinka suuret markkinat tuotteelle on. (Prod-dev 2011)

### 3. Stage 2

Toisessa työvaiheessa rakennetaan tuotteen liiketoimintasuunnitelma ja markkinointisuunnitelma. Tämä on stage-gate mallin hitain ja eniten re-

sursseja vaativa työvaihe. Tämä vaihe jakaantuu yleensä neljään osa-alueeseen. Nämä osa-alueet ovat: tuotteen määrittely ja tuoteanalyysit, liiketoimintasuunnitelman rakentaminen, projektisuunnitelman tekeminen ja tuotteen käyttökelpoisuus selvitys. (Prod-dev 2011)

#### 4. Stage 3

Kolmannessa työvaiheessa aloitetaan aikaisemmista vaiheista saadun tiedon pohjalta suunnitella tuotetta. Tässä vaiheessa toteutetaan ensimmäisiä prototyyppien valmistuksia ja mahdollisesti asiakastestauksia. Tuotekehityksen tässä vaiheessa on tärkeää pitää kiinni aikaisemmissa vaiheissa saaduista tiedoista, jotta tuotteesta saadaan sellainen, jonka asiakkaat haluavat. Tuotekehityksen aikataulua seurataan SMART (Specific, Measurable, Actionable, Realistic and Time bound) ajanhallintajärjestelmällä. SMART-järjestelmässä mitataan tuotteen kunkin kehitysvaiheen viemää aikaa, minkä avulla yritys voi arvioida tuotteen valmistumispäivän. (Prod-dev 2011)

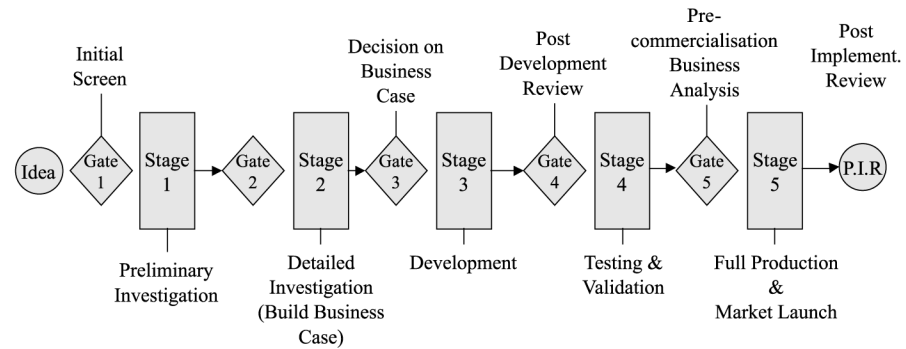
#### 5. Stage 4

Neljännessä työvaiheessa tuotetta testataan ja sen oikeellisuutta arvioidaan. Tässä vaiheessa arvioidaan itse tuotetta, tuotteen tuotantoprosessia, asiakaiden hyväksyntää ja tuotteen rahallista arvoa. (Prod-dev 2011)

#### 6. Stage 5

Viimeinen työvaihe on tuotelanseeraus. Tämä on stage-gate prosessissa tärkein työvaihe. Tässä vaiheessa yritys rakentaa tuotteen lopullisen markkinointisuunnitelman. Yrityksen on tässä vaiheessa myös pystyttävä ar-

vioimaan tuotteen myyntivolyymit, jotta voidaan päättää tuotantomäärät tuotannon alussa. (Prod-dev 2011)



Source: Cooper (1994)

KUVIO 1. Stage-gate tuotekehitysprosessimallikaavio. (Emeraldinsight 2010)

### 2.3.2 Waterfall

Waterfall tuotekehitysprosessimallin on alunperin kehittänyt Lockheed Corporationin Winston W. Royce esimerkiksi viallisesti toteutetusta toimimattomasta tuotekehitysprosessista 1970. Tutkimuksessaan hän ei käyttänyt mallista nimeä Waterfall, vaan nimi on myöhemmin keksitty kuvaamaan vesiputouksenomaisesti vaiheesta seuraavaan juoksevaa mallia. Väärin ymmärrettynä monet yritykset alkoivat käyttää Waterfall-mallia tuotekehityksessään. Sittemmin mallista on muokattu lukuisia erilaisia versioita, jotka ovat nykypäivänä käytössä monien yritysten tuotekehitysyksiköissä. (Bookrags 2011)

Waterfall-mallin toimintaidea on se, että jokainen aste toteutetaan aina kokonaisuudessaan valmiiksi ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä. Muista tuotekehitysmalleista eroten Waterfall-mallissa ei ole vaiheiden kierrätystä tai palautusta aikaisemmalle tasolle (KUVIO 2). (Svproduct 2011)

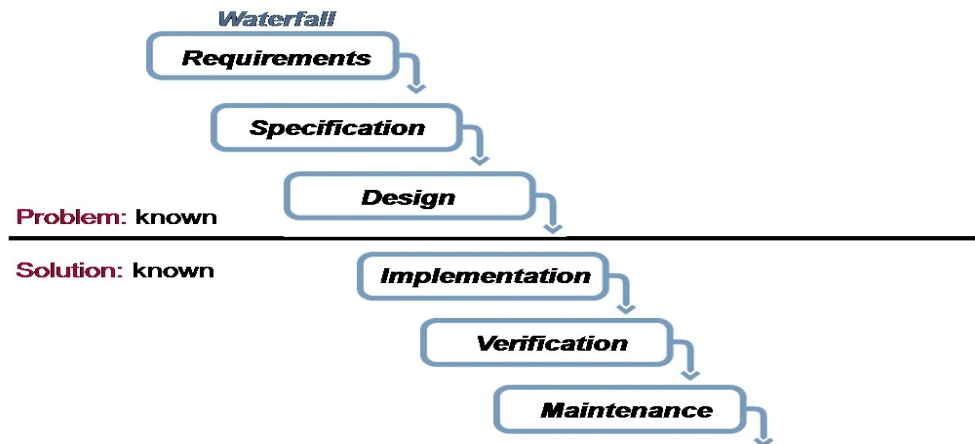
Alkuperäisessä Waterfall-mallissa on seitsemän ennalta määritettyä työvaihetta, jotka suoritetaan aina seuraavassa järjestyksessä:

1. vaatimusmäärittely
2. suunnittelu
3. rakentaminen
4. integrointi
5. testaus ja virheiden korjaus
6. asennus
7. huolto

Waterfall mallissa ei ole ennalta määrättyjä tehtäviä kullekin tasolle, vaan yritys rakentaa aina kullekin kehitettävälle tuotteelle omat kehitysaskleet kunkin osa-alueen sisällä. (Svproduct 2011)

## Traditional Product Development

*Unit of Progress: Advance to Next Stage*



KUVIO 2. Waterfall tuotekehitysprosessimallikaavio. (Startup university 2010)

## 2.4 Ketterät tuotekehitysprosessimallit

### 2.4.1 Kanban

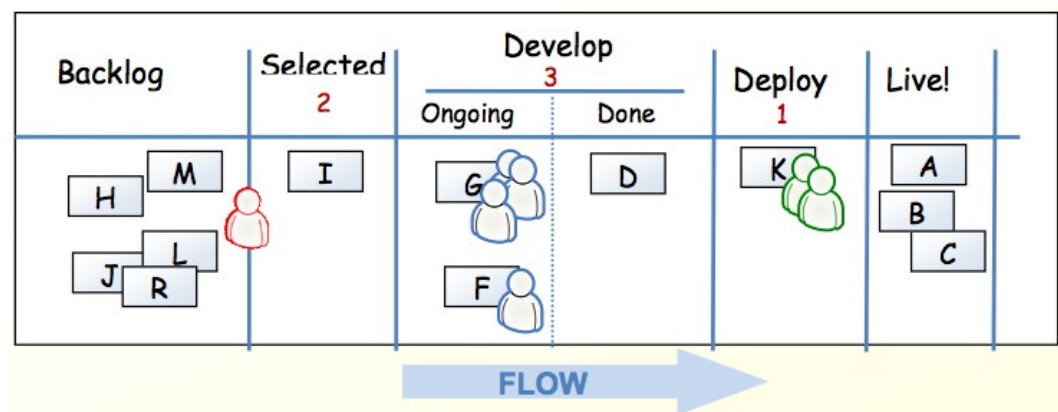
Kanban-tuotekehitysprosessimallin kehitti Toyota Motor Companyn varatoimitusjohtaja Taiichi Ohno 1950-luvulla. Kanbanin kehitys sai alkunsa, jotta Toyota pystyisi valmistamaan kilpailukykyisen hintaisia tuotteita. Japanissa oli vähän luonnonvaroja verrattuna Eurooppaan. Lähes kaikki materiaali oli tilattava muualta, minkä takia Japanissa oli kallista valmistaa tavaroita. Kilpailukyvyn varmistamiseksi kehitettiin tuotekehitykseen ja tuotevalmistukseen soveltuva tehokas ja nopea Kanban-menetelmä. (Sugimori, Kusunoki, Cho, Ukhikawa 1977, 553.)

Kanban-mallissa käytetään aina ns. Kanban taulua (KUVIO 3), jonka avulla seurataan työn etenemistä. Taulu jaetaan työsarakeisiin, ja jokaiselle sarakkeelle asetetaan kerralla sarakkeessa toteutuksessa olevien töiden määrä. Jokainen tehtävä nimetään ja laitetaan Kanban taululle ensimmäiseen sarakkeeseen. Tuotekehityksen edetessä havaittavat uudet tarvittavat tehtävät lisätään myös taulun ensimmäiseen sarakkeeseen. Aina kun jostakin sarakkeesta valmistuu tehtävä, valitaan

siihen sarakkeeseen sopiva seuraava tehtävä ensimmäisestä sarakkeesta tai aikaisemmasta sarakkeesta valmistunut tehtävä, jonka tarvitsee käydä myös seuraavan vaiheen läpi. Kukin tehtävä voidaan siirtää taululla mihin tahansa työvaiheeseen niin monta kertaa kuin se on tarpeellista. (Kniberg 2009)

Kanban-menetelmässä tehtäville ei aseteta ollenkaan aikarajaa etukäteen. Ajanhallinta tapahtuu ajastamalla kunkin tehtävän kuluttama aika ensimmäisestä vaiheesta valmistumiseen. Ensimmäisten tehtävien valmistuttua niihin kulunut aika kirjataan ylös. Näiden aikojen perusteella arvioidaan kuinka kauan samankaltaisilla tehtävillä kestää valmistua. Arvioidut läpikulkuajat ovat aluksi karkeita arvioita, mutta kehityksen edetessä, kun samankaltaisia tehtäviä on suoritettu useita, saadaan läpikulkuajat arvioitua hyvinkin tarkkaan. (Kniberg 2009)

Kanban taululle sijoitettavat tehtäväkortit on laitettava tärkeysjärjestykseen. Tekijät ottavat aikaisemman tehtävän valmistuttua taululta ensimmäisenä olevan tehtäväkortin ja sijoittavat sen taulun sarakkeeseen, joka vastaa sen tehtävän kuvausta, jota tekijä tekee. Tällä taataan se, että toisistaan riippuvaiset tehtävät tehdään oikeassa järjestyksessä. (Kniberg 2009)



KUVIO 3. Kanban tuotekehitysprosessimallikaavio. (Kniberg 2009, 6)

## 2.4.2 Scrum

Scrum-tuotekehitysprosessimallin kehittivät Hitotsubashin yliopiston dekaani Hirotaka Takeuchi ja Professori Ikujiro Nonaka vuonna 1986. Scrum-menetelmän kehityksessä oli tarkoitus luoda tuotekehitysprosessi, jonka yksi ryhmä voi viedä alusta loppuun. Nimi Scrum tulee rugby pelaamisesta, jossa joukkue yrittää päästä eteenpäin kulkemalla yhdessä ja heittelemällä palloa toisilleen. (Kniberg 2009)

Scrum-malliin kuuluu kolme eri roolia: Product Owner, Team ja ScrumMaster. Product Owner on henkilö, joka asettaa ja priorisoi vaatimukset tuotteelle. Team analysoi korkeantason vaatimukset, jakaa ne pienempiin osiin ja tekee tehtävät. ScrumMaster valvoo Teamin tekemää työtä ja varmistaa, että vaatimukset täyttyvät. (Kniberg 2009)

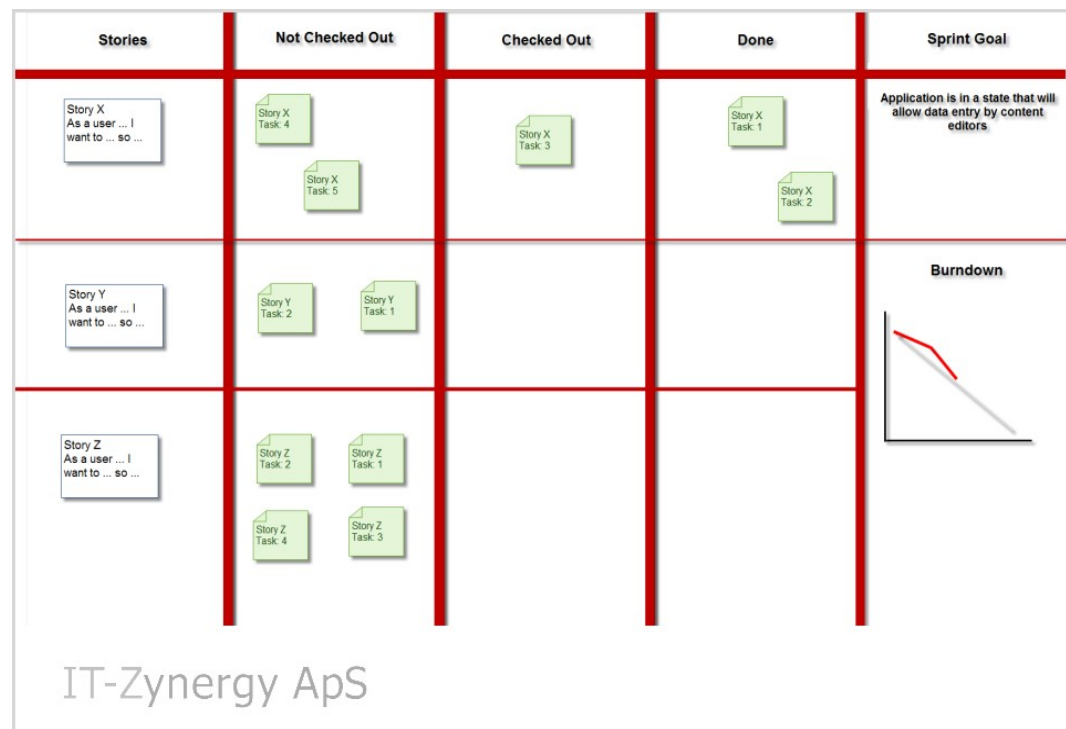
Scrum-mallissa tuotekehitystä suoritetaan sprinteissä. Sprintti on tuotekehityksen alussa määritelty ajanjakso, jonka aikana tehdään sovitut tehtävät. (Kniberg 2009)

Scrum-mallissa rakennetaan aluksi tehtäväkokonaisuuslista (backlog), johon sijoitetaan kaikki aloitushetkellä tiedossa olevat korkeantason vaatimukset. Vaatimuksia lisätään tehtäväkokonaisuuslistaan sitä mukaa, kun niitä ilmenee. (Kniberg 2009)

Team ja Product Owner pitävät ennen jokaista sprinttiä sprinttipleenings-kokouksen, jossa päätetään mitä tehtäviä sprintissä tehdään. Team jakaa sprinttiin valitut korkeantason vaatimukset pienempiin osa-alueisiin ja tekee ne haluamassaan järjestyksessä (KUVIO 4). Suorittamatta jääneet ja keskeneräiset tehtävät siirretään seuraavaan sprinttiin, mikäli ne ovat jääneet suorittamatta ajan puutteen vuoksi. Tehtävät, joita ei ole voitu suorittaa jostain muusta syystä, kuten esimerkiksi riippuvuudesta toiseen valmistumattomaan tehtävään, siirretään takaisin tehtäväkokonaisuuslistalle. (Kniberg 2009)

Tuote on valmis, kun Team esittelee viimeisimmän sprintin tulokset Product Ownerille, eikä Product Ownerilla ole enää lisätehtäviä Teamille. (Kniberg 2009)





KUVIO 4. Scrum-tuotekehitysprosessimallikaavio (It zynergy ApS 2010)

## 2.5 Tuotekehitysprosessimallien vertailu

Perinteisten ja ketterien tuotekehitysprosessimallien suurin ero on työvaiheiden jaksotuksessa. Perinteisissä malleissa pyritään suunnittelemaan koko projekti valmiiksi ja projektisuunnitelmaa seuraamalla saamaan valmis tuote aikaiseksi. Ketterissä malleissa taas projekti pyritään pitämään mahdollisimman avoimena, jolloin mahdollisia epäkohtia ja virheitä voidaan helposti paikkailla prosessin missä vaiheessa tahansa. Ketterissä malleissa ei niinkään pyritä suunnittelemaan vaiheita etukäteen, vaan päättää, mistä aloitetaan ja edetä siitä eteenpäin yritys-erehdystyylisesti.

Waterfall-mallin ja stage-gate-mallin suurin ero on tuotteen eteneminen vaiheissa. Waterfall-mallissa pyritään heti projektin alussa suunnittelemaan jokainen kehitysvaihe täydelliseksi, eikä siinä jätetä varaa tuotteen palauttamiseen aikaisempaan vaiheeseen, jos virheitä ilmenee. Stage-gate-mallissa on jätetty mahdollisuus pa-

lauttaa tuote mille tahansa kehitysasteelle miltä tahansa kehitysasteelta. Mahdollisuus kierrättää tuote takaisin aikaisempaan asteeseen mahdollistaa yksittäisten virheiden korjauksen. Waterfall-mallissa kehitysvaiheessa havaittu virhe tarkoittaa teoriassa sitä, että koko projekti joudutaan aloittamaan alusta.

Kanban-mallin ja Scrum-mallin suurin ero on ajanhallinnassa. Kanban-mallissa tuotteen kulkua prosessissa seurataan valmistuneiden tehtävien osalta, kun taas scrum-mallissa pyritään etukäteen arvioimaan kuhunkin tehtävään kuluva aika. Toinen ero näissä malleissa on sitoutuvuus. Scrum-malli on sitoutuneempi kuin Kanban. Kanban-mallissa voidaan kutakin työvaihetta työstää niin pitkään kuin on tarpeen, kun taas Scrum-mallissa tehtävä olisi saatava valmiiksi sille lasketulla ajalla. Scrum-mallissa aikamääreet tekevät sen, että seuraavat vaiheet ovat riippuvaisia aikaisemman vaiheen valmistumisesta.

Käytännössä tuotekehitysprosessimallien erot määrittelevät minkälaisiin projekteihin ne soveltuvat parhaiten. Periaatteena voidaan pitää, että perinteiset mallit sopivat parhaiten jo aiemmin kehitettyjen tuotteiden parantamiseen, esimerkiksi valmiin tuotteen modernisoimiseen. Ketterät mallit taas soveltuvat parhaiten täysin uusien tuotteiden kehitykseen, jossa ei voida ennakoida, mitä missäkin vaiheessa tapahtuu.

## 2.6 Tuotekehitysprosessimallin soveltaminen TERMO-projektissa

TERMO-projektissa käytetty tuotekehitysmalli on Lahden Ammattikorkeakoulun tuotekehityksessä käyttämä malli. Malli on suunniteltu soveltuvaksi projekteihin, joissa on mukana useita ihmisiä, jotka eivät välttämättä voi olla yhteyksissä toisiinsa. Lahden Ammattikorkeakoulun projektit toteutetaan usein osin oppilaiden tekeminä. Kun projektissa mukana ollut oppilas valmistuu, ei häneen välttämättä saada enää yhteyttä. Tästä syystä malli on kehitetty sellaiseksi, että projektissa tehdään aina yksi vaihe kerrallaan valmiiksi, mukaillen Waterfall-mallia.

### 3 TERMO-PROJEKTIN TUOTEKEHITYKSEN VAIHEET

TERMO-levy on Lahden Ammattikorkeakoulussa innovoitu uudenlainen levymateriaali. TERMO-levy koostuu ydinmateriaalista ja ohuista pintaviiluista. Levy soveltuu hyvin muotopuristeisiin elastisen ydinmateriaalinsa vuoksi. Levyn ydinmateriaalina käytetään 2-4 mm paksua akryylinitriilibutadieenistyreeni-levyä (eli ABS-levyä). Pintamateriaaleina levyissä voidaan käyttää erilaisia viiluja tai ohutviiluvanereita. Tutkimusten aikana pintamateriaaleina on käytetty koivuviilua.

#### 3.1 Ideointi

Idea termomuovattavan puulevyn valmistukseen sai alkunsa Lahden Ammattikorkeakoulussa. Ideana oli kehittää muotopuristusmenetelmä, jonka avulla muoto-osien valmistusta voitaisiin automatisoida. Tuote oli alunperin ideoitu Tekesin SISU-yritysaumatioshankkeeseen, mutta ideaa ei kuitenkaan tarjottu SISU-ohjelmaan, koska huomattiin, että se oli tarkoitettu korkeamman teknologian kehittämiseen. Lahden ammattikorkeakoulu päätti aloittaa tuotekehityksen itsenäisenä projektina. Projektiin haettiin rahoittajiksi Tekes sekä yhteistyöyrityksiä.

#### 3.2 Tavoitteet

TERMO-projektin päätavoitteena oli kehittää uudenlainen kilpailukykyinen muotopuristeiden valmistusmenetelmä, joka mahdollistaisi massaräätälöityjen muoto-osien nopean valmistuksen. Osatavoitteina oli pystyä valmistamaan entistä voimakkaampia muotoja, sekä kehittää valmistusprosessi sellaiseksi, että se mahdollistaisi verkostopohjaisten toimintamallien hyödyntämisen kalusteteollisuudessa.

### 3.3 Esisuunnittelu

Esisuunnitteluvaiheessa valmistettiin useita erilaisia prototyyppejä erilaisilla materiaaliyhdistelmillä. Tuotteen potentiaalia selvitettiin esittelemällä prototyyppejä yrityksille, joilta kysyttiin mielipidettä tuotteen potentiaalista ja heidän kiinnostustaan osallistua projektin rahoitukseen. Yhteistyöyritysten löydyttyä ensimmäisessä johtoryhmän kokouksessa tutkittavat materiaalit rajattiin 0.6 mm koivuviiluun ja akryylinitriilibutadienistyreeni-muoviin (ABS-muoviin), jotta tutkimuskenttää saatiin rajattua. Esisuunnittelun aikana jätettiin patenttihakemus termomuovattavalle puulevyvalmisteelle.

Projektin rahoitus koostui Lahden Ammattikorkeakoulun, yhteistyöyritysten ja Tekesin rahoitusosuuksista. Osuudet jakautuivat seuraavasti: Lahden Ammattikorkeakoulu 25 %, yhteistyöyritykset 25 % ja Tekes 50 %.

### 3.4 Tutkimukset

Ennen tämän lopputyön aloittamista, oli TERMO-projektille tehty jo kolme lopputyötä. Lopputöiden aiheet olivat 1. muottivalinta, 2. viilun murtovenymän parantaminen 3D-muotopuristuksessa sekä 3. ABS-muovin ja koivuviilun liimaus muotopuristeissa. Tämän tutkimuksen kanssa samanaikaisesti tekeillä oli myös lopputyö 4, jonka aiheena oli levyn lujuusominaisuudet.

#### 3.4.1 ABS-muovin ja koivuviilun liimaus muotopuristeissa

Opinnäytetyön aiheesta ABS-muovin ja koivuviilun liimaus muotopuristeissa Lahden ammattikorkeakoululle teki Asko Sievänen. Opinnäytetyössään hän tutki ABS-muovin ja koivuviilun muotopuristeissa liimaamiseen soveltuvia liimatyypppejä.

Sievänen perehtyi tutkimuksissaan puun ja muovin ominaisuuksiin liimauksen näkökulmasta. Teoriatutkimuksissa puun ja muovin yhteenliimaamiseen parhaiksi toteamansa liimat hän otti lähempään tarkasteluun ja testauksiin. Näitä olivat epoksiliimat, huoneenlämmössä kovettuvat kaksikomponenttiliimat, kaksikomponenttiset kuumakovettuvat epoksiliimat, yksikomponenttiset epoksiliimat, polyuretaaniliimat, akryyliiliimat, akryylirakenneliimat, toisen sukupolven akryyliiliimat ja syanoakrylaattiliimat. (Sievänen 2010)

Liimasauman testaamiseen käytettiin kolmea eri testausmenetelmää: puustamurtumatestiä, vetolujuustestiä ja kuorimislujuustestiä. Näiden testien pohjalta valittiin kolme parhaiten soveltuvaa liimaa leikkauslujuustesteihin. (Sievänen 2010)

*Liiman valinnassa käytettiin seuraavia kriteereitä: nopea liimattavuus ja kovettumisaika, kestävä sidos, riittävä lämmönkesto, vaalea väri ja värjäämätön, riittävän joustava liimasauma. Tärkeimpänä kriteerinä oli liimasauman riittävä kestävyys, koska liimasauman päätehtävä on pitää kappaleet yhdessä.* (Sievänen 2010, 43)

Testien pohjalta parhaiten ABS-muovin ja viilun liimaukseen soveltuviksi liimoiksi osoittautuivat Akvapur SM 1200, Scotch Weld 30 ja Novox-pinnoituskalvo. Kaikki osa-alueet huomioon ottaen Akvapur SM 1200 -liima on sopivin TERMO-levyn liimauksessa. (Sievänen 2010)

Prototyypausvaiheessa muotopuristeita valmistettaessa viilujen kiinnittämiseen käytettiin Akvapur SM 1200 -liimaa.

### 3.4.2 Muottivalinta

Opinnäytetyön aiheesta muottivalinta Lahden ammattikorkeakoululle teki Henri Paulakoski 2009. Opinnäytetyössään hän vertaili eri muovaustekniikoita, mallien ja muottien TERMO-levyihin soveltuvia materiaaleja ja muottirakenteita eri valmistustekniikoilla.

Muovaustekniikoista Henri Paulakoski tarkasteli lämpömuovausta, tyhjiömuovausta ja kuumapuristusta. Mallien ja muottien materiaalivalintoja tutkiessaan hän perehtyi seuraaviin materiaaleihin: valettavat kertamuovit, lasikuitulujitetut muovit, hiilikuitulujitetut kertamuovit, ruiskutettavat ja elektrolyyttisesti pinnoitettavat metallit, keraamit, kipsit, puu, epoksit, metallit. Näillä tuotteilla ja valmistusmenetelmillä hän tutki TERMO-levylle sopivimpia muovaustekniikoita, muottimateriaaleja ja muottien valmistusmenetelmiä. (Paulakoski 2009)

Tutkimuksissaan hän tuli tulokseen, että TERMO-levyille sopivimmat muovaustekniikat ovat alipaine- eli vakuumimuovaus ja kaksipuolisella muotilla tehtävä kuumapuristus. Parhaiksi muottimateriaaleiksi tutkimuksissa osoittautuivat alumiini, epoksit ja keraamit. (Paulakoski 2009)

Tämän projektin aikana muotopuristeet valmistettiin vakuumimuovaustekniikalla ja suorat kappaleet kuumapuristamalla. Muotit muodoista, jotka olivat jo olemassa, valmistettiin polyuretaanista jyrsimällä tai epoksihartsivalulla. Alusta asti suunniteltujen muotojen muotit valmistettiin polyuretaanista ja MDF:stä.

### 3.4.3 Viilun murtovenymän parantaminen 3D-muotopuristuksessa

Opinnäytetyön viilun murtovenymän parantaminen 3D-muotopuristuksessa Lahden ammattikorkeakoululle teki Antti Patrikainen 2010. Opinnäytetyössään hän tutki muotopuristamista, viilun taivuttamiseen vaikuttavia tekijöitä, erikoisviiluja, viilun fysikaalista modifiointia sekä viilun murtovenymistä.

Muotopuristamisen suurimmaksi ongelmaksi hän toteaa puun ominaisuuden. Puu on kestävä materiaalia vain syiden suunnassa, jolloin syiden vastaisiin muotoihin puristettaessa viilut repeävät helposti. (Patrikainen 2010)

Tämän ongelman ratkaisemiseksi Patrikainen tutki erilaisia viilumateriaaleja, käsiteltyjä viiluja ja ohutviiluvanereita. Tutkimuksiin esitietojen perusteella valitut viilut olivat 2 ply pe, 3ply pe, 2 ply int, Rampport fleece, lasikuituverkolla vahvistettu viilu ja Reholts 3D -viilu. Viilun käsittelymenetelmistä hän tutki kalaterointia, shokkikäsittelyä, sorvaushalkeamien hyödyntämistä ja lasertyöstöä. Tutkimuksessaan hän pyrki löytämään viilun, jonka murtovenymä on mahdollisimman suuri. Suuren murtovenymän omaavalla viilulla pystytään puristamaan jyrkempiä kulmia sisältäviä muotoja. (Patrikainen 2010)

Testatuista viiluista selvästi esille nousi kaksi: Rampport fleece ja Reholts 3D -viilut. Murtovenymäprosentiksi Rampport-fleece viilulle saatiin 3.6 % ja Reholts 3D -viilulle 5.4 %. Huonekalukuivan koivuviilun murtovenymäprosentti on 1.4 %, joten Rampport fleece ja Reholts 3D -viiluilla murtovenymä on huomattavasti suurempi. (Patrikainen 2010)

Modifioituilla viiluilla murtovenymiä saatiin hieman käsittelemätöntä koivuviilua suuremmiksi, mutta ne jäivät kuitenkin huomattavasti pienemmiksi kuin erikoisviiluilla. (Patrikainen 2010)

Prototyypin valmistamisessa käytettiin loivemmissa muodoissa 0.6 mm paksua käsittelemätöntä koivuviilua. Erikoisviiluja käytettiin vaativammissa BANSKU- ja TILANJAKAJA muodoissa. Käsiteltyjä viiluja ei käytetty prototyyppausvai-

heessa ollenkaan, koska Patrikainen oli todennut, että erikoisviiluilla päästään parempaan tulokseen.

#### 3.4.4 Levyn lujuusominaisuudet

Opinnäytetyön aiheesta levyn lujuusominaisuudet Lahden Ammattikorkeakoululle teki Antti Lankinen vuonna 2010-2011. Opinnäytetyössään hän tutki termomuovattavan puulevyvalmisteen lujuusominaisuuksia. Lujuusominaisuuksien selvittämiseksi hän tutki levyn taivutuslujuutta, kimmomoduulia ja taivutusjäykkyyttä. Lujuusominaisuuksien lisäksi hän tutki myös levyn kosteudenkestävyyttä.

Tutkimuksissaan hän käytti yleisesti alalla käytettyjen standardien mukaisia testejä. Nämä standardit ovat SFS-EN 314 osat 1 ja 2, SFS-EN 1372: Kuorimislujuustesti, SFS-EN 310: Puulevyt. Taivutuskimmomodulin ja taivutuslujuuden määrittäminen ja ISO 7173: Istuinhuonekalujen lujuus- ja kestävyystestit. Hän teki kaikki testit kuudella erilaisella TERMO-levyllä ja yhdellä vertailulevyllä. Kaikissa TERMO-levyissä runkolevynä hän käytti 4 mm paksua ABS-muovia. Pintaviiluina hän käytti 3ply ohutviiluvaneria, 0.6 mm paksua koivuviilua ja 0.6 mm paksua fleeekekankaalla vahvistettua koivuviilua. Kaikilla viiluvaihtoehdoilla valmistettiin testikappaleet kahdella eri liimalla. Liimoina hän käytti Kiilto Akvapur SM 1200 ja 3M Scotch-Weld 30 -liimoja. Vertailulevynä hän käytti 5.3 mm paksua 5ply koivuvaneria.

Syynsuunnassa TERMO-levyn lujuusominaisuudet verrattuna 5ply koivuvaneriin ovat hyvät. Kimmomoduuli ja taivutuslujuus TERMO-levyllä on huomattavasti parempi kuin vertailussa käytetyllä 5ply koivuvanerilla. 0.6 mm paksulla fleeekekankaalla vahvistetulla TERMO-levyllä kimmomoduuliksi saatiin  $297 \text{ N/mm}^2$  ja taivutuslujuudeksi  $113 \text{ N/mm}^2$ , kun vastaavat lukemat vertailulevyllä olivat  $205.4 \text{ N/mm}^2$  ja  $82.3 \text{ N/mm}^2$ . Myös taivutusjäykkyys oli parempi kuin vertailulevyllä. TERMO-levyistä paras taivutusjäykkyys saatiin fleeekekankaalla vahvistetulla viilulla. Tällä levyllä taivutusjäykkyys saatiin  $147949 \text{ Nmm}^2/\text{mm}$ .



Poikkisysin TERMO-levyllä on 5ply koivuvaneria huomattavasti huonommat lujuusominaisuudet. Kaikissa testeissä parhaat tulokset saavutettiin 3ply ohutviiluvanerilla pinnoitetulla TERMO-levyllä. Kimmomoduuli ja taivutusjäykkyys olivat molemmat noin 4 kertaa huonompia kuin vertailulevyllä. Taivutuslujuus oli noin puolet huonompi.

### 3.5 Prototyyppien valmistus ja testaus

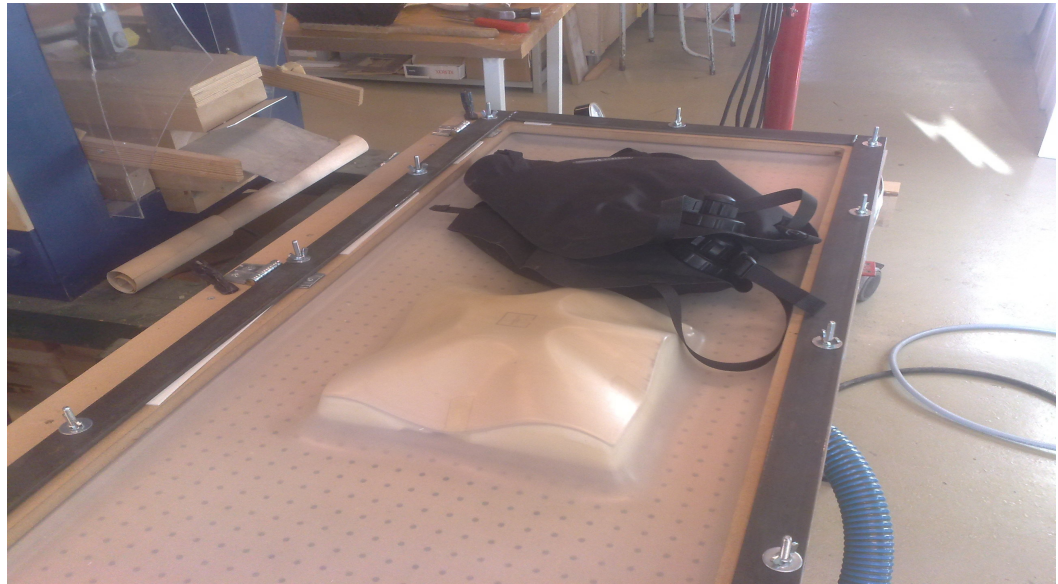
Tehtäväni projektissa oli valmistaa erilaisia prototyyppejä ennalta määritettyjen tuloksien pohjalta. Tätä kautta pyrittiin selvittämään kuinka jyrkkiä 3D-muotoja TERMO-muovauksella voidaan toteuttaa.

Prototyyppaus- ja testausvaiheessa valmistettiin neljää erilaista muotoa: TUISKU-muoto, TUOLI-muoto, BANSKU-muoto ja TILANJAKAJA-muoto.

Prototyyppien avulla pyrittiin selvittämään levyn muotoon taipumista, liiman tarttuvuutta, viilun taipumista ja muodon pysyvyyttä eri muodoissa. Tutkimuksissa kutakin osa-aluetta tutkittiin toisistaan riippumattomana. Levyn muotoon taipumisessa tarkkailtiin levyn taipumista muotoon puristuksen aikana. Liiman pysyvyyttä tutkittiin valmiista puristeesta silmämääräisesti ja käsin viilua repimällä. Viilun taipumista tarkkailtiin valmiista puristeesta silmämääräisesti. Muodon pysyvyyttä tarkasteltiin valmiista puristeesta, sovittamalla kappaletta muottiin.

Kaikki prototyyppikappaleet valmistettiin alipainekalvopuristimella (KUVIO 5). Alkuperäisasetuksissa puristusaika oli 40 minuuttia, joka koostui 20 minuutin lämpöpuristuksesta ja 20 minuutin jäähdytysvaiheesta. Lämpöpuristuksen aikana kappaletta lämmitettiin infrapunalämpölampulla noin 160 asteessa ja jäähdytysvaiheessa kappale jäähdytettiin alle 40 asteiseksi käyttämällä -20 asteiseksi jäädytettyjä pakkasnestepusseja. Kaikkien muotojen testaus aloitettiin käyttämällä runkolevynä 4 mm paksua ABS-muovia, joka esilämmitettiin 135 asteiseksi. Runkolevy viilutettiin molemmin puolin 0.6 mm paksulla koivuviilulla. Viilut liimattiin kiinni runkolevyyn Akvapur SM 1200 -liimalla. Materiaaleja ja asetuksia muutettiin kunkin muodon kohdalla esiintyneiden ongelmien mukaan. Liimana kaikissa

puristuksissa käytettiin kuitenkin Akvapur SM 1200 -liimaa, koska se oli aiempien testien pohjalta todettu parhaaksi liimaksi TERMO-levyjen muotopuristukseen.



KUVIO 5, Alipainekalvopuristin

### 3.5.1 TUISKU-muoto



KUVIO 6, TUISKU-muoto

TUISKU-muoto on Taideteollisessa korkeakoulussa suunniteltu muoto. TUISKU on suunniteltu sellaiseksi, että sen muodossa ei ole kulmia, joissa viilu joutuu venymään. Muotonsa vuoksi TUISKU sopi täydellisesti TERMO-projektin testimuodoksi.

TUSKU-muodosta valmistettiin muotti muovailmalla polyuretaanista muodon sisäosaa mukaileva kappale. Muotoillun kappaleen päälle asetettiin valmis TUISKU-vati. Kappaleen tarkoitus oli pitää vadin muoto kasassa puristusten aikana.

Muodon onnistumiseksi TERMO-levyllä jouduttiin asetuksia muuttamaan vain yhden tarkasteltavan osa-alueen vuoksi: vain liiman tarttuvuudessa oli ongelmia.

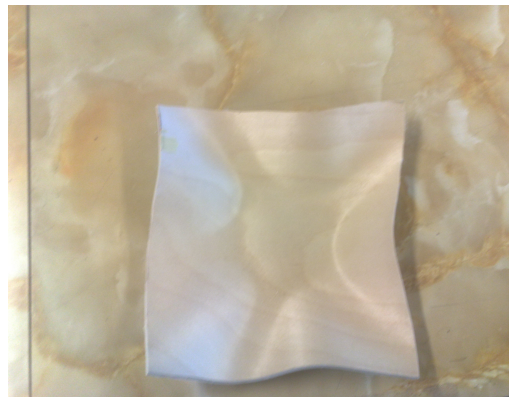
Kaikki muut osa-alueet onnistuivat alkuperäisasetuksilla. Alkuperäisasetuksilla ja lopullisilla asetuksilla saavutetut tulokset näkyvät taulukossa 1.

TAULUKKO 1, TUISKU-muodolla saavutetut tulokset ( x=onnistunut osio, -=epäonnistunut osio)

TUISKU	Muotoon taipuminen	Liiman tarttuminen	Viilun taipuminen	Muodon pysyvyys
Alkuperäisasetukset	x	-	x	x
Lopullisetasetukset	x	x	x	x

### Muotoon taipuminen

Levy taipui kokonaisuudessaan muotoon (KUVIO 7). Testien missään vaiheessa ei havaittu ongelmia muotoon taipumisen kanssa.

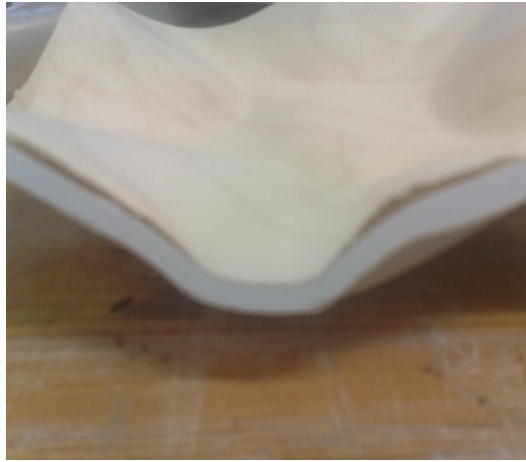


KUVIO 7, muotoon taipunut TUISKU-muoto

### Liiman tarttuvuus

Aluperäisillä asetuksilla viilua ei saatu tarttumaan muoviin kunnolla. Viilu ei tarttunut ABS-muoviin muodon reunakohdissa (KUVIO 8). Huonon tarttuvuuden syyksi havaittiin puristuksen aikaisen lämmön tuottavan infrapunalämpölampan

lämmön epätasainen jakautuminen kappaleelle. Infrapunalämpölampun tuottama lämpö ei ylettynyt kappaleen reunoihin saakka.



KUVIO 8, TUISKU, epäonnistunut viilutus.

Ongelma saatiin korjattua muotin ja kappaleen väliin asetetulla kuparisella lämmönjohtavuuslevyllä. Lämmönjohtavuuslevyn avulla lämpö saatiin johdettua kappaleen keskikohdasta kappaleen reunoihin. Lämmönjohtavuuslevyn kanssa puristaessa viilu liimautui kappaleeseen tasaisesti kokonaan (KUVIO 9).



KUVIO 9, TUISKU, onnistunut viilutus

### Viilun taipuminen muotoon

Lähes kaikissa testikappaleissa viilut taipuivat muotoon repeilemättä. Joissakin testikappaleissa viilut repeilivät muodon jyrkimmissä kohdissa. Repeämien kohdat eivät noudattaneet minkäänlaista yhtenevää kaavaa, vaan repeämät ilmenivät satumanvaraisissa kohdissa eri kappaleilla. Tästä voitiin päätellä, että repeämien syy ei ollut kappaleen muodossa, vaan viilun epätasalaatuisuudesta.

### Muodon pysyvyys

Muotin mukaiseksi taipunut levy pysyi muodossa puristuksen jälkeen. Tutkimusten aikana ei havaittu yhdenkään testikappaleen pyrkivän taipumaan pois muodosta puristuksen jälkeen. Valmiiseen TUISKU-vatiin ei siis jää voimia, jotka pyrkisivät taivuttamaan kappaletta pois muodosta.



### 3.5.2 TUOLI-muoto



KUVIO 10, TUOLI-muoto

TUOLI-muodon tavoitteena oli kehittää levymäinen muoto, joka sopisi tuolin istuinosaksi ja selkänöjäksi. Osat kiinnitetään toisiinsa ruuvaamalla päihin muotoillut ”lipat” toisiinsa.

Muotti TUOLI-muodolle valmistettiin Solidworksilla mallinnettua mallia mukailen polyuretaanista muovaamalla. Muoton päädyissä olevat ”lipat” muotoiltiin männystä, koska polyuretaani ei kestänyt puristuksen aikana, vaan se painui kasaan.

Muotoa ei saatu onnistumaan TERMO-levyllä. Alkuperäisasetuksilla saatiin onnistumaan kolme osa-aluetta, vain viilun taipuminen ei onnistunut. Tätä ongelmaa

ei saatu korjattua asetusten muutoksella. Alkuperäisasetuksilla ja lopullisilla asetuksilla saavutetut tulokset näkyvät taulukossa 2.

TAULUKKO 2, TUOLI-muodolla saavutetut tulokset ( x=onnistunut osio, -=epäonnistunut osio)

TUOLI	Muotoon taipuminen	Liiman tarttuminen	Viilun taipuminen	Muodon pysyvyys
Alkuperäisasetukset	x	x	-	x
Lopullisetasetukset	x	x	-	x

### Muotoon taipuminen

Muotoon taipumisessa ei havaittu ongelmia. Levy taipui kokonaisuudessaan muotoon kaikissa testikappaleissa (KUVIO 11). Myöhempien mallien testeissä havaittiin, että kappaleen muotoon taipumisessa on ongelmia vain, jos muoto jää kappaleen ”sisään”. ABS-muovi taipuu siis ongelmitta muotoihin, joissa kappaletta taivutetaan reunoista keskelle päin, tai koko kappaletta reunasta reunaan.



KUVIO 11, muotoon taipunut TUOLI-muoto



### Liiman tarttuvuus

Viilujen tartunnassa ei havaittu ongelmia tutkimusten aikana. Jokaisessa valmistuksessa testikappaleessa viilut tarttuivat runkolevyyn molemmin puolin (KUVIO 12). Aikaisemmassa testikappaleessa havaittiin, että viilu ei liimaudu runkomuoviin, jos lämpö puristuksen lämmitysvaiheessa ei ylety kappaleen jokaiseen kohtaan. Tässä kappaleessa korkeuserot kappaleen muodossa olivat tarpeeksi pienet, minkä vuoksi lämpö jakautui tasaisesti koko kappaleeseen ilman apuvälineitä.



KUVIO 12, TUOLI kiinni liimautunut viilu

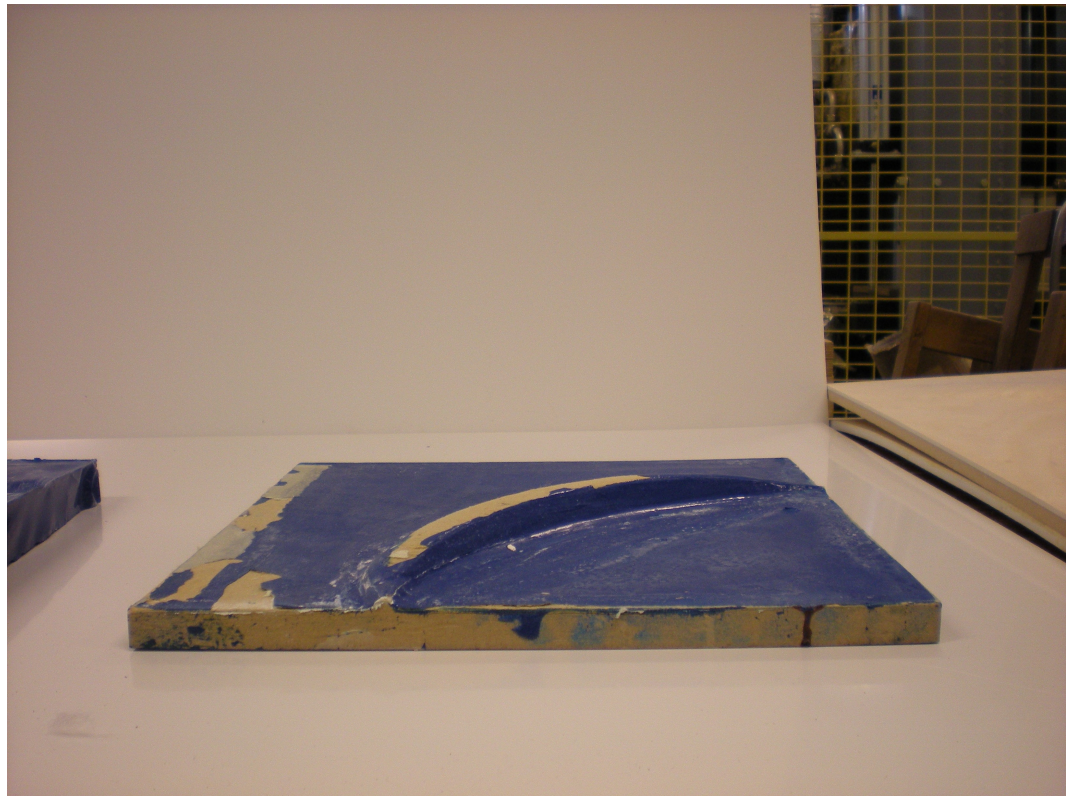
### Viilun taipuminen muotoon

Viilua ei saatu taipumaan muotoon repeilemättä. Viilut sekä ylä- että alapinnalla repeilivät muodon jyrkimmissä kohdissa. Muodon toimimiseksi sekä istuinosana, että selkänojana kulmien tuli olla vähintään niin jyrkät, kuin ne tässä testissä olivat. Koska viilujen repeymät olivat niin isoja, pääteltiin että ohuempien tai käsiteltyjen viilujen käyttö kappaleen pinnoituksessa ei olisi auttanut. Muodon asetuksia ei voinut muuttaa sellaiseen suuntaan, että viilu olisi pystynyt venymään kappaleen muotoon repeilemättä. Tulosten pohjalta pääteltiin että TUOLI-muotoa ei pystytä toteuttamaan TERMO-levyllä.

### Muodon pysyvyys

Levyt pysyivät muodossa puristusten jälkeen. Yhdenkään testikappaleen ei havaittu taipuvan pois muodosta tutkimusten aikana. Tässä muodossa levyihin ei siis jäänyt voimia, jotka pyrkisivät suoristamaan levyä. Tämä selittyy sillä, että kappaleen muodot taipuivat ”ulos” levyn reunoista, jolloin ABS-muovi ei joudu venymään uuteen muotoon muodon koko osalta, vaan vain taipuma kohdista.

### 3.5.3 BANSKU-muoto



KUVIO 13, BANSKU-muoto

BANSKU-muodolla pyrittiin selvittämään kuinka jyrkkiä kulmia TERMO-menetelmällä pystytään toteuttamaan muotoiluinstituutissa kehitteillä olleen TILANJAKAJA-muodon kaltaisissa muodoissa.

Muotti BANSKU-muodolle valmistettiin mallintamalla Solidwoksillä muoto, jonka avulla tehtiin HOMAC-CNC-koneen luettavissa olevat työstöradat Mastercam-ohjelmalla. Malli jyrsittiin MDF-levy aihioista Lahden Ammattikorkeakoulun Puutekniikan laboratorion HOMAC-CNC-koneella.

Alkuperäisasetuksilla muodosta ei saatu onnistumaan yhtäkään tarkasteltua osa-aluetta. Asetusten muutoksilla ongelmat saatiin korjattua: lopullisilla asetuksilla muoto saatiin onnistumaan kaikilla osa-alueilla. Alkuperäisasetuksilla ja lopullisilla asetuksilla saavutetut tulokset näkyvät taulukossa 3.

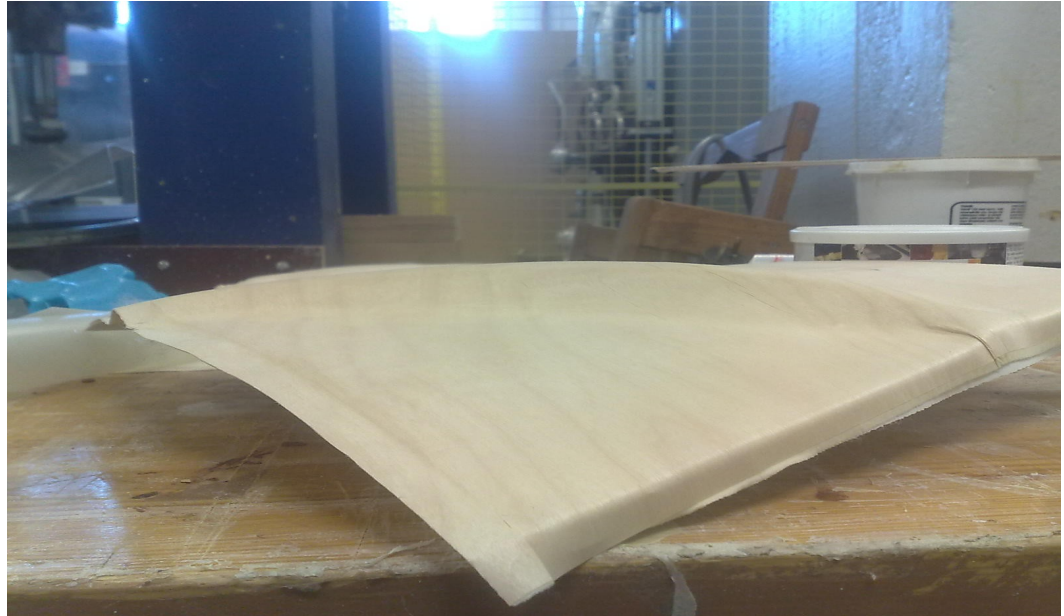
TAULUKKO 3, BANSKU- muodolla saavutetut tulokset ( x=onnistunut osio, -=epäonnistunut osio)

BANSKU	Muotoon taipuminen	Liiman tarttuminen	Viilun taipuminen	Muodon pysyvyys
Alkuperäisasetukset	-	-	-	-
Lopullisetasetukset	x	x	x	x

#### Muotoon taipuminen

Levyä ei saatu taipumaan muotoon alkuperäisasetuksilla, vaan testejä jouduttiin tekemään useilla eri asetuksilla. Alkuperäisasetuksilla TERMO-levyn muotoon taipuma jäi vajaaksi koko muodon matkalta 4 mm ABS-muovia ja 0.6 mm koivuvii-  
luja käytettäessä. Levyn huonoon taipumiseen todettiin syyksi 4 mm paksulle ABS-muovilevyllä liian jyrkät kulmat ja alapinnan viilun taipumattomuus muotoon. ABS-levyyn jäi puristuksen aikana voimia, jotka pyrkivät palauttamaan levyn alkuperäismuotoonsa puristuksesta pois otettaessa. Alapinnan viilu vaikutti myös levyn taipumattomuuteen. Koska viilu ei pystynyt taipumaan muotoon kappaleen alapinnalla, pyrki se vetämään kappaletta suuremmaksi. Alapinnan viilu ei ollut kappaleelle pakollinen, koska malli oli suunniteltu seinäpaneeliksi, jossa kappaleen tausta on seinää vasten. Alapinnan viilu päätettiin tämän takia jättää kokonaan pois kappaleesta. TERMO-levy saatiin taipumaan kokonaisuudessaan

muotoon käyttämällä 2 mm paksua ABS-muovia ja 0.6 mm koivuviilua pelkäs-  
tään pintapuolella (KUVIO 14).



KUVIO 14, muotoon taipunut BANSKU

#### Liiman tarttuvuus

Viilu tarttui hyvin muodon yläpinnalle, mutta alapinnan tarttuvuus oli todella huono. Alapinnan viilun huonon tarttuvuuden syyksi todettiin alhainen lämpötila kappaleen alapinnalla, sekä viilun taipumisen kannalta liian jyrkkä muoto, jolloin viilussa on jännityksiä liimautumisprosessin aikana. Alapinnan viilun tarttumista ei pyritty parantamaan, koska se oli päätetty jättää pois jo kappaleen muotoon taipumisen vuoksi.

## Viilun taipuminen muotoon

Viilun saaminen taipumaan muotoon oli haasteellista. Alkuperäisasetuksilla viilua ei saatu taipumaan kappaleen muotoon yhdelläkään koekappaleella. Alkuperäisasetuksilla viilu yläpinnalla repeili ja viilu alapinnalla taittui päällekkäin useasta kohdasta. Alapinnan viilu oli jo aiemmin päätetty jättää pois levyn muotoon taipumisen mahdollistamiseksi, joten tässä osiossa pyrittiin parantamaan yläpinnan viilun muotoon taipumista.

Yläpinnalla viilun repeily oli pientä. Muodon testaamista päätettiin jatkaa erilaisilla viilutyypeillä, koska viilun repeily oli niin pientä, että eri viilutyypillä repeilyä ei välttämättä tapahtuisi. Jatkotestaukseen valitut viilutyypit olivat 1. Fleecekankaalla vahvistettu 0.2 mm paksu koivuviilu, 2. Fleecekankaalla vahvistettu 0.4 mm paksu koivuviilu ja 3. Muovikalvolla vahvistettu 0.4 mm paksu koivuviilu.

# 1. Fleecekankaalla vahvistettu 0.2 mm paksu koivuviilu

Fleecekankaalla vahvistettu viilu repeili hieman muodon korkeimmasta kohdasta (KUVIO 15). Repeily tapahtui syynsuunnan mukaisesti. Tällä viilutyypillä ei kuitenkaan saatu valmistettua yhtään kappaletta, jossa viilu ei olisi repeillyt ollenkaan. Repeämät ilmenivät jokaisessa testatussa kappaleessa samoissa kohdissa, joten ogelma ei ollut viilujen epätasalaatuisuudessa, vaan kyseiselle viilutyypille liian jyrkistä kulmista.



KUVIO 15, 0.2 mm paksu fleecekankaalla vahvistetulla viilulla päällystetty  
BANSKU

## 2. Fleecekankaalla vahvistettu 0.4 mm paksu koivuviilu

Fleecekankaalla vahvistettu 0.4 mm paksu viilu repeili pahoin muodon korkeim-massa kohdassa (KUVIO 16). Repeily tapahtui viilun syynsuunnassa. Repeämät ilmenivät samoissa kohdissa kuin 0.2 mm fleecekankaalla vahvistetulla viilulla. Viilu repeili huomattavasti enemmän kuin ohuemmalla muuten samanlaisella vii-lulla. Aiemmin saatujen parempien tulosten vuoksi tällä viilutyypillä ei tehty useampia kokeita, vaan kokeissa panostettiin muihin viilutyyppeihin.



KUVIO 16, 0.4 mm paksu fleecekankaalla vahvistetulla viilulla päällystetty  
BANSKU

### 3. Muovikalvolla vahvistettu 0.4 mm paksu koivuviilu

Muovikalvolla vahvistetulla 0.4 mm paksulla viilulla saatiin parhaat tulokset. Tällä viilutyypillä viilu saatiin taipumaan kappaleen muotoon ilman, että se repeili ollenkaan (KUVIO 17). Testikappaleita valmistettiin useita, eikä yhdesäkään ilmennyt repeämiä, missään kohti kappaleita. Muovikalvolla vahvistetulla viilulla saavutettiin ylivoimaisesti parhaat testitulokset ja se oli myös ainoa viilutyyppe, jolla tämä muoto pystyttiin valmistamaan.



KUVIO 17, 0.4 mm paksu muovikalvolla vahvistetulla viilulla päällystetty  
BANSKU



## Muodon pysyvyys

Muodon pysyvyydessä havaittiin ongelmia. Puristuksesta pois otettaessa TERMO-levy taipui välittömästi kaarelle pitkittäismuodon vastaisesti. Taipumaan ei vaikuttanut pintaviilun viilutyyppejä, eikä pintaviilun syynsuunta. Taipuma oli samanlainen kaikissa koekappaleissa. Tuloksista pääteltiin, että taipuma johtui ABS-levyn puristuksen aikana muodostuvista voimista, koska eri pintaviilumateriaalit ja eri syynsuunnat eivät vaikuttaneet taipumaan. Levyn kaarelle taipumista pyrittiin pienentämään nostamalla sen lämpötilaa. Levyn lämpötilaa nostettiin 155 asteeseen saakka, mutta tällä ei havaittu olevan suurta merkitystä taipumisen kannalta. Taipumaa olisi mahdollisesti saatu pienennettyä kuumentamalla ASB-runkomuovi yli 160 asteiseksi. ABS-muovin elastisuus kasvaa sen lämmetessä, joten runkolevyn kuumentaminen olisi todennäköisesti parantanut muotoon taipumaa. Levyn lämmittäminen 160 asteeseen ei kuitenkaan ollut mahdollista, koska testikappaleiden suunnitellut käyttökohteet vaativat levyiltä tietyt lujuudet. Tämä menetelmä olisi heikentänyt levyä liikaa, koska ABS-muovi haurastuu, jos se lämmitetään yli 160 asteeseen. Taipuman poistamiseksi päätettiin muotopuristetun levyn alapinnalle kiinnittää 4 mm ABS-muovilevy poistamaan taipuma. Kiinnitystä varten valmistettiin naarasmuotti, jonka avulla pystyttiin painamaan muotoiltu TERMO-levy suoraa ABS-levyä vasten. Kiinnitykseen käytettiin kahta eri menetelmää.

Ensimmäisessä menetelmässä levyjen pinnat käsitellään asetonilla. Asetonilla käsitellyt pinnat pehmenevät niin paljon, että levyt voidaan liittää yhteen puristamalla.

Toisessa menetelmässä levyjen väliin asetetaan kalvon muodossa oleva sulateliima, joka sulaa lämmön vaikutuksesta ja liimaa kappaleet kiinni toisiinsa. Testeissä käytettiin PE EVA –terpolymeerikalvoa. Menetelmää varten on olemassa myös polyuretaaniliimakalvoja.

### 3.5.4 TILANJAKAJA-muoto



KUVIO 18, TILANJAKAJA-muoto

TILANJAKAJA-muodon osana opinnäytetyötään suunnitteli Lahden Ammatti-  
korkeakoulun muotoiluinstituutissa sisustusarkkitehdiksi opiskeleva Vappumaaria  
Tuhkanen. TILANJAKAJA-muodon tarkoitus oli olla levy, jota voitaisiin käyttää  
joko paneelina seinässä tai katossa, tai vaihtoehtoisesti tilanjakajalevynä esimer-  
kiksi toimistotiloissa.

Muotti TILANJAKAJA-muodolle valmistettiin tekemällä Mastercamilla työstä-  
dat HOMAC-CNC-koneen hyväksymään muotoon Vappumaaria Tuhkasen Rhino  
ohjelmalla mallintamasta muodosta. Muotti jyrsittiin Lahden Ammattikorkeakou-  
lun Puutekniikan laboratorion HOMAC-CNC-koneella tiheästä (600kg/m<sup>3</sup>) poly-  
uretaanista.

Alkuperäisasetuksilla muodosta ei saatu onnistumaan yhtäkään tarkasteltua osa-alueutta. Asetusten muutoksilla muoto saatiin kuitenkin onnistumaan kaikilla osa-alueilla. Alkuperäisasetuksilla ja lopullisilla asetuksilla saavutetut tulokset näkyvät taulukossa 4.

TAULUKKO 4, TILANJAKAJA- muodolla saavutetut tulokset ( x=onnistunut osio, -=epäonnistunut osio)

TILANJAKAJA	Muotoon taipuminen	Liiman tarttuminen	Viilun taipuminen	Muodon pysyvyys
Alkuperäisasetukset	-	-	-	-
Lopullisetasetukset	x	x	x	x

#### Muotoon taipuminen

Kappaletta ei saatu taipumaan kokonaisuudessaan muotoon alkuperäisasetuksilla. TERMO-levyn muotoon taipuma jäi vajaaksi muodon koko matkalta 4 mm ABS-muovia ja 0.6 mm koivuviilua käytettäessä. Ongelma yritettiin korjata vaihtamalla runkomuovi 2 mm paksuun ABS-muoviin. Tämä ei kuitenkaan auttanut, vaan muoto jäi vieläkin vajaaksi. Vajaaseen taipumaan syyksi havaittiin alapinnan viilu. Muoto kappaleen alapinnalla sisälsi niin voimakkaita muotoja, että viilu ei pystynyt taipumaan muotin mukaiseksi, vaan liimautui kiinni vain niiltä osin, joihin se taipui. Tämän johdosta viiluun jäi voimia jotka pyrkivät suoristamaan levyä. Kuten BANSKU-muoto, TILANJAKAJA-muoto oli suunniteltu sellaisiin käyttökohteisiin, joissa viilu alapinnalla ei ollut pakollinen. Tämän takia ongelmaa ei pyritty ratkaisemaan asetuksia muuttamalla, vaan alapinnan viilu päätettiin jättää pois. Ilman alapinnan viilua kappale saatiin taipumaan kokonaisuudessaan muotoon (KUVIO 19).



KUVIO 19, muotoon taipunut TILANJKAJA

#### Liiman tarttuvuus

Viilu kappaleen yläpinnalla tarttui hyvin, mutta viilu kappaleen alapinnalla ei tarttunut kunnolla. Koska yläpinnan viilun tartunnassa ei havaittu ongelmia testausten missään vaiheessa, ja alapinnan viilu oli päätetty jättää pois levyn muotoon taipumisen vuoksi, liiman tarttuvuuden vuoksi asetuksiin ei tarvinnut tehdä muutoksia.

#### Viilun taipuminen muotoon

Viiluja ei saatu taipumaan kappaleen mukaiseksi alkuperäisasetuksilla. Viilu yläpinnalla repeili muodon korkeimmassa kohdassa. Viilu muodon alapinnalla repeili useista kohdista ja taittui päällekkäin muodon reunoilla. Alapinnan viilu jätettiin kokonaan pois, koska se ei ollut välttämätön kappaleen käyttökohteissa. Tutki-

musten aikana todettiin, että ABS-muovin valssauksessa syntyvät venymät vaikuttavat muovin ominaisuuksiin. Yläpinnan viilu saatiin tarttumaan kunnolla asettamalla runkolevyn valssausuunta kappaleen lyhyemmän sivun mukaisesti. Valssausuunnan ollessa kappaleen pidemmän sivun mukainen, kappaletta ei saatu valmistettua niin, ettei viilu repeilisi. Erot viilujen taipuvuudessa eri valssausuunnilla selittyy runkolevyn lämpölaajenemisella. ABS-muovi kutistuu valssausuunnassa noin 14 prosenttia ja laajenee toisessa suunnassa noin 4 prosenttia. Kun kappaletta viilennetään runkolevy pyrkii palaamaan lähemmäs alkuperäisiä mittojaan. Tästä johtuen valssausuunnan ollessa pitemmän sivun mukainen muodon korkeimpaan kohtaan syntyy enemmän lämpölaajenemista, jolloin jo kappaleeseen liimautunut viilu repeilee.

#### Muodon pysyvyys

Muotoon puristettu levy ei pysynyt muotin mukaisessa muodossa puristuksesta pois otettaessa, vaan taipui välittömästi kuperalle kaarelle pitkittäissuunnan vastaisesti. Ongelman ratkaisemiseksi pintaviilun syynsuunta vaihdettiin päinvastaiseksi, mutta vaikutukset taipumisen estämiseksi olivat pienet. Taipumaa saatiin pienennettyä kääntämällä runkomuovi päinvastaiseksi. Tämä johtuu edellä esitetystä ABS-muovin valssausuunnan vaikutuksesta levyyn, minkä johdosta TERMO-levyn sisään jää jännityksiä. Kaareutumaa saatiin pienennettyä käyttämällä runkomuovia niin, että sen valssausuunta oli pitkittäismuotoa vastaan ja viilun syynsuunta pituussuunnassa. Kappale käyristyi näilläkin asetuksilla kuitenkin niin paljon, että sitä ei olisi voinut käyttää seinäpaneelina, joten kappale suoritettiin liimaamalla se 12 mm paksuun havuvaneriin.

### 3.6 Koekappaleiden valmistus tehtaassa

TERMO-levyn soveltuvuutta valmiiseen kaupalliseen tuotteeseen testattiin Huonekalutehdas Korhosen tehtaalla Littoisissa. Testattavaksi tuotteeksi valittiin Jouko Kärkkäisen suunnittelema Ply-sisustuselementti (KUVIO 21). Valmistusmenetelmä poikkesi aikaisempien testien valmistusmenetelmästä. Ply-sisustuselementti valmistettiin tasopuristimella käyttämällä uros-naaras muottia (KUVIO 20). Puristuksessa ei ollut mahdollista lämmittää eikä viilentää kappaletta puristuksen aikana.



KUVIO 20, tasopuristin

Ensimmäisten koekappaleiden valmistuksessa puristusasetukset pyrittiin päättämään aikaisempien kokeiden perusteella. Testit aloitettiin runkolevyn lämpötilalla 110 astetta ja puristuspaineena oli noin 2,5 Bar. Kappaleita puristettiin aluksi 10 minuuttia. Näillä asetuksilla levy ei onnistunut: viilut eivät liimautuneet kiinni, ja kappaleen muoto suoritui puristuksesta pois otettaessa.

Ongelma pyrittiin korjaamaan lisäämällä sekä runkolevyn lämpötilaa, että puristuspainetta. Kumpaakin asetusta muutettiin portaittain, kunnes viilu saatiin tarttumaan. Tämä tapahtui asetuksilla, joissa runkolevyn lämpötila oli noin 130 astetta,

puristuspaine noin 5 Bar ja puristusaika 12 minuuttia. Viilun tartuttua kappaleisiin myös muoto pysyi puristuksen jälkeen.

Onnistuneita kappaleita valmistettiin kahdella eri runkolevyn paksuudella, 2 mm ja 4 mm paksuilla ABS-levyillä. Pintaviiluina kaikissa testeissä käytettiin 0.6 mm paksua koivuviilua.



KUVIO 21, onnistunut Ply-sisustuselementti

#### 4 TULOSTEN ANALYSOINTI

Alkuperäisasetuksilla yhtäkään muotoa ei saatu onnistumaan kaikkissa osa-alueissa. TUISKU- ja TUOLI-muodoilla saatiin onnistumaan kolme osa-aluetta. BANSKU- ja TILANJAKAJA-muodoilla yksikään osa-alue ei onnistunut ilman asetuksien muutoksia. Alkuperäisasetuksilla saavutetut tulokset näkyvät taulukosta 5.

TAULUKKO 5, Alkuperäisasetuksilla saavutetut tulokset ( x=onnistunut osio, -=epäonistunut osio)

Muoto	Muotoon taipuminen	Liiman tarttuminen	Viilun taipuminen	Muodon pysyvyys
TUISKU	x	-	x	x
TUOLI	x	x	-	x
BANSKU	-	-	-	-
TILANJAKAJA	-	-	-	-

Onnistuneiden tulosten saavuttamiseksi kaikkien, paitsi TUOLI-muodon kohdalla alkuperäisasetuksia jouduttiin muuttamaan. TUOLI-muodolla asetuksia ei muutettu, koska alkuperäisasetuksilla saavutetuista tuloksista pystyttiin päättämään, että muotoa ei voi valmistaa TERMO-menetelmällä. Kaikki muut muodot saatiin onnistumaan jokaisen tarkastellun osa-alueen kohdalla. Projektin aikana saavutetut tulokset näkyvät taulukosta 6.

TAULUKKO 6, Projektin lopussa saavutetut tulokset ( x=onnistunut osio, -=epäonistunut osio)

Muoto	Muotoon taipuminen	Liiman tarttuminen	Viilun taipuminen	Muodon pysyvyys
TUISKU	x	x	x	x
TUOLI	x	x	-	x
BANSKU	x	x	x	x
TILANJAKAJA	x	x	x	x



#### 4.1 TUISKU-muoto

TERMO-levystä saatiin tutkimusten aikana valmistettua TUSKU-muodon mukainen kappale. TUISKU-muotoa valmistettaessa tulee kiinnittää huomiota lämmönjakautumiseen, jotta viilut liimautuvat kaukana lämmönlähteestä sijaitseviin reunakohtiin kunnolla. Alipainekalvopuristusmenetelmällä ABS-levy tulee lämmittää 130 asteiseksi. Muotin välissä tulee käyttää kuparista lämmönjohtavuuslevyä, jotta lämpö pääsee reunakohtiin saakka. Muottia tulee puristaa 20 minuuttia infrapunalämpölampun alla ja 20 minuuttia pakastenestepussien alla.

#### 4.2 TUOLI-muoto

TUOLI-muodon lippojen taivutuskulmat ovat liian suuria viiluille. TUOLI-muodon valmistaminen termolevystä alipainekalvopuristustekniikalla ei ole mahdollista, koska mikään testatuista viiluista ei pystynyt taipumaan muodon mukaiseksi repeilemättä.

#### 4.3 BANSKU-muoto

TERMO-levystä saatiin tutkimusten aikana valmistettua BANSKU-muodon mukainen kappale. BANSKU-muotoa voidaan valmistaa pelkästään pintaviilutettuna. Alapinnan viilun kanssa muotoa ei pystytä valmistamaan. Kappaletta valmistettaessa tulee ottaa huomioon sen käyristyminen puristuksen jälkeen. Kappale pitää aina liimata kiinni johonkin vahvempaan suoraan levyyn, jotta se saadaan suoritettua. BANSKU-muotoa valmistettaessa runkolevy tulee lämmittää 130 asteeseen. Muottia tulee puristaa 10 minuuttia infrapunalämpölampun alla ja 10 minuuttia pakastenestepussien alla.

#### 4.4 TILANJAKAJA-muoto

TERMO-levystä saatiin tutkimusten aikana valmistettua TILANJAKAJA-muodon mukainen kappale. TILANJAKAJA-muotoa voidaan valmistaa pelkästään pinta-viilutettuna. Alapinnan viilun kanssa muotoa ei pystytä valmistamaan. Kappaletta valmistettaessa tulee huomioida muovin valssausuunta. Valssausuunnan on oltava kappaleen kapean sivun suuntainen. Huomioon tulee ottaa myös levyn käyristyminen puristuksen jälkeen. Kappale pitää aina liimata kiinni johonkin vahvempaan suoraan levyyn, jotta se saadaan suoristettua. Kappaletta valmistettaessa runkolevy tulee lämmittää 130 asteeseen. Muottia tulee puristaa 10 minuuttia infrapunalämpölampun alla ja 10 minuuttia pakastenestepussien alla.

## 5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa kartoitettiin erilaisia tuotekehitysprosessimalleja. Erilaisia malleja selvittäessä ilmeni, että malleja on useita kymmeniä erilaisia, joista on jokaisesta vielä useampia versioita. Tarkemmin selvitettiin malleja, joiden kaltainen tässä projektissa oli käytössä, sekä malleja, jotka voisivat sopia paremmin tämänkaltaisiin projekteihin.

Tutkimuksissa selvisi että tämänkaltaisiin, täysin uudenlaisen tuotteen tuotekehitykseen sopivat parhaiten niin sanotut ketterät mallit, joista tässä tutkimuksessa selvitettiin tarkemmin Kanban-mallia ja Scrum-mallia. Suurimmalla osalla teollisuuden alan yrityksistä on kuitenkin käytössä perinteiset mallit.

Opinnäytetyön kokeellisessa osuudessa tutkittiin termomuovattavan puulevyvalmisteen taipumista 3D-muotoon. Levyn taipumista testattiin kehittelemällä prototyyppejä, jotka kuvaisivat mahdollisimman hyvin levyn taipumisominaisuuksia. Tutkimusten aikana vastaan tuli paljon haasteita ja epäonnistumisia; koska kyseessä oli täysin uusi tuote, jokaisessa testauksessa lähdettiin tyhjästä.

Tutkimuksessa tavoitteisiin pääsy oli todella hankalaa. Tavoitteena oli selvittää tiettyjä raja-arvoja, joihin levyn voi taivuttaa. Tällaisia tuloksia ei kuitenkaan saatu, koska jokaisella muodolla ongelmat olivat hieman eri osa-alueilla. Tuloksista voitiin päätellä, että termomuovattava puulevyvalmiste taipuu jyrkkiin 3D-muotoihin, kun asetukset saadaan kohdalleen. Tämän opinnäytetyön tulosten pohjalta ei kuitenkaan voi suoraan suunnitella muotoa, joka varmasti toimisi. Jokainen uudenlainen muoto, jota aiotaan TERMO-levystä valmistaa, on suunniteltava yhdessä henkilön kanssa, joka tuntee TERMO-menetelmän.

## 6 LÄHTEET

### Painetut lähteet

Hietikko, E. 2008. Tuotekehitystoiminta. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.

Jaakkola, J. Tunkelo, E. 1987. Tuotekehitys – ideoista markkinoille. Espoo: Weilin+Göös

Rissanen, T. 2002. Tuotekehityshankkeen toteuttaminen yrityksessä. Saarijärvi: Kustannusosakeyhtiö Pohjantähti PoleStar Ltd.

Sugimori, Y. Kusunoki, K. Cho, F. Uchikawa, S. 1977. Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in time and respect-for-human system. International Journal of Product Research. 6/1977, 553-564.

### Elektroniset lähteet

Patrikainen A, 2010, TERMOMUOVATTAVAT PUULEVYVALMISTEET Viilun murtovenymän parantaminen 3D-muotopuristuksessa [viitattu 01.12.2010] Saatavissa: <https://publications.theseus.fi/handle/10024/13039>

Sievänen A, 2010. TERMOMUOVATTAVAT PUULEVYVALMISTEET ABS-muovin ja koivuviilun liimaus muotopuristeissa [viitattu 01.12.2010] Saatavissa: <https://publications.theseus.fi/handle/10024/15966>

Emeraldinsight, [viitattu 30.11.2010] Saatavissa: [http://www.emeraldinsight.com/content\\_images/fig/0070390110001.png](http://www.emeraldinsight.com/content_images/fig/0070390110001.png)

Kniberg H, 2009. Kanban vs. Scrum – How to make the best of both [viitattu 29.11.2010] Saatavissa: <http://blog.crisp.se/henrikkniberg/2009/04/03/1238795520000.html>

Paulakoski H, 2009. TERMOMUOVATTAVAT PUULEVYVALMISTEET  
Muottivalinta [viitattu 01.12.2010] Saatavissa:

<https://publications.theseus.fi/handle/10024/6950>

INNOVATION EXPERTS RANKED WORLD'S TOP SCHOLARS [ Viitattu  
03.01.2010] Saatavissa: [http://www.stage-gate.com/news\\_052807.php](http://www.stage-gate.com/news_052807.php)

It zynergy ApS, [viitattu 30.11.2010] Saatavissa: <http://www.it-zynergy.dk/Scrum-Overview-Of-Process.aspx>

Stage-gate innovation process [Viitattu 03.01.2011] Saatavissa: <http://www.provenmodels.com/573>

Stage-gate – your roadmap for new product development [viitattu 09.01.2011]  
Saatavissa: <http://www.prod-dev.com/stage-gate.php>

Startup university,[viitattu 30.11.2010] Saatavissa: <http://www.startupu.net/?s=waterfall&lang=en>

The Waterfall Product Development Process [Viitattu 09.01.2011] Saatavissa:  
<http://www.svproduct.com/the-waterfall-product-development-process/>

Waterfall model [Viitattu 04.01.2011] Saatavissa:

[http://www.bookrags.com/wiki/Waterfall\\_model#History\\_of\\_the\\_waterfall\\_model](http://www.bookrags.com/wiki/Waterfall_model#History_of_the_waterfall_model)